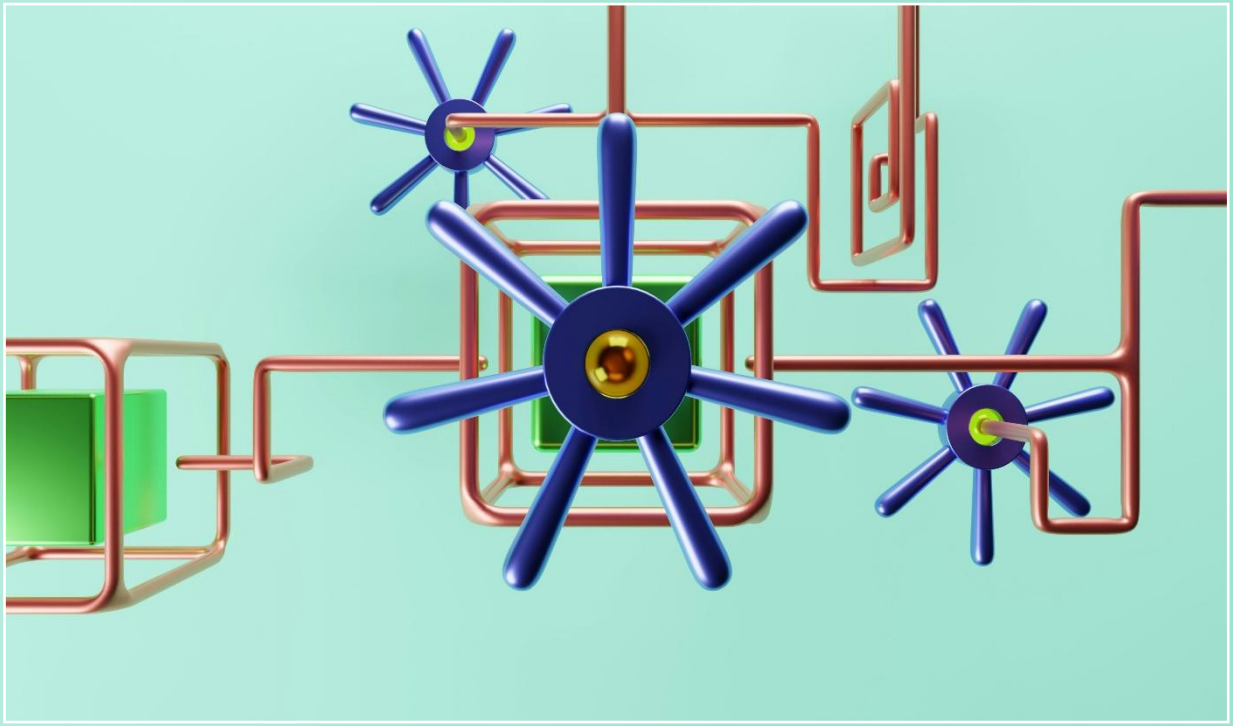


Technologie

Mécanique

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

4ème Année

EDITION 2025

Option Mécanique Générale



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Pédagogiques du Cours 1

- 1. Finalités Compétentielles 1
- 2. Finalités Méthodologiques 1
- 3. Finalités Professionnelles 2

Approche Didactique et Méthodologique 2

- 1.1. De la Théorie à l'Application Pratique 2
- 1.2. Développement de la Compétence Analytique 2
- 1.3. L'Utilisation Stratégique des Scénarios 2

Contexte Industriel et Enjeux de Qualité 3

- 1. La Mutation du Tissu Industriel 3
- 2. La Qualité comme Exigence Fondamentale 3

PARTIE I : LA MÉTROLOGIE DIMENSIONNELLE ET GÉOMÉTRIQUE **4**

a. La science de la mesure 4

b. Dimensions et Géométrie : deux aspects d'une même pièce 4

c. Les instruments : prolongement de l'œil et de la main 4

d. L'enjeu : la qualité et l'interchangeabilité 4

CHAPITRE 1 : FONDAMENTAUX DE LA TOLÉRANCE ET DE L'AJUSTEMENT **5**

1.1. Principes du Tolérancement Dimensionnel et Système ISO d'Ajustements 5

- a. L'impossibilité de la perfection 5
- A. Les Composants du Tolérancement Dimensionnel 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (1135-3779-4330) **8**

Représentation graphique d'un intervalle de tolérance pour une cote nominale 8

- B. Le Système d'Ajustement ISO : Arbres et Alésages 8

FIGURE 2 : RÉF. IMG (0476-4233-3710) **10**

Comparaison schématique des ajustements avec jeu, incertain et avec serrage 10

- C. Scénarios et Exercices 10

1.2. Les Différents Types d'Ajustements : Jeu, Serrage, Incertain 12

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. Le secret de l'emboîtement parfait....12
- A. L'Ajustement avec Jeu....12

FIGURE 3 : RÉF. IMG (2918-6704-8026)....14

Représentation schématique d'un ajustement avec jeu et d'un serrage....14

- B. L'Ajustement avec Serrage....14
- C. L'Ajustement Incertain....15

FIGURE 4 : RÉF. IMG (9726-3535-6125)....17

Graphique des intervalles de tolérance pour les trois types d'ajustements....17

- b. Scénarios et Exercices....17

1.3. Application au Choix des Ajustements pour les Roulements....19

- a. Le paradoxe du roulement....19
- A. Le Principe Fondamental : la Pièce Tournante....20
- B. Facteurs Modulant le Choix de l'Ajustement....20

CHAPITRE 2 : LES INSTRUMENTS DE MESURE DIRECTE....23

2.1. Instruments à Lecture Directe : Pied à Coulisse et Micromètre....23

- a. La précision, une affaire de confiance....23
- A. Le Pied à Coulisse : L'outil polyvalent....23

FIGURE 5 : RÉF. IMG (0096-4523-3194)....24

Anatomie d'un pied à coulisse et ses trois fonctions de mesure....24

- B. Le Micromètre (ou Palmer) : La quête du centième....24

FIGURE 6 : RÉF. IMG (7325-1780-2235)....25

Schéma de lecture d'un micromètre au centième de millimètre....25

- b. L'anecdote de l'ajusteur de Lubumbashi....25

2.2. Les Jauges de Profondeur et Micromètres d'Intérieur....27

- a. Le puits et l'alésage....27
- A. La Jauge de Profondeur : Mesurer le Vide....27

FIGURE 7 : RÉF. IMG (2319-1711-8046)....29

Anatomie d'une jauge de profondeur à vernier et ses composants....29

- B. Le Micromètre d'Intérieur : Conquérir l'Alésage....29

FIGURE 8 : RÉF. IMG (8528-3712-4652)....30

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Le micromètre d'intérieur à trois touches, aussi appelé alésomètre.....30
- C. Scénarios et Exercices.....30

2.3. Sources d'Erreurs de Mesure et Précautions d'Utilisation.....32
- a. La quête de la mesure juste.....32
- A. Identification des Sources d'Erreurs.....32

FIGURE 9 : RÉF. IMG (9480-1897-6062).....34

Comprendre et corriger l'erreur de parallaxe sur un pied à coulisse.....34
- B. Précautions Fondamentales d'Utilisation.....34
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....35

CHAPITRE 3 : LA MESURE PAR COMPARAISON ET LES CALIBRES.....37

3.1. Le Comparateur à Cadran : Principe et Applications.....37
- a. La différence entre mesurer et comparer.....37
- A. Principe de Fonctionnement.....37

FIGURE 10 : RÉF. IMG (1896-9509-9484).....39

Anatomie d'un comparateur à cadran et son support magnétique.....39
- B. Applications Courantes en Atelier.....39

FIGURE 11 : RÉF. IMG (4634-8687-4263).....40

Contrôle du faux-rond d'un arbre sur un tour à métaux.....40
- Scénarios et Exercices.....41
- Une histoire de culasse à Lubumbashi.....41

3.2. Les Étalons de Référence : Cales-Étalons et Marbre de Contrôle.....42
- a. Le piège de la mesure "à l'œil".....42
- A. Les Cales-Étalons : L'ADN de la Longueur.....42

FIGURE 12 : RÉF. IMG (1511-5494-2855).....45

Empilage de cales-étalons par adhérence moléculaire pour former une cote préc.....45
- B. Le Marbre de Contrôle : Le Zéro de Référence.....45

3.3. Le Contrôle par Calibres « Entre / N'Entre Pas ».....47
- a. Le verdict de la matière.....47
- A. Le Principe de la double vérification.....48
- B. Les deux familles de calibres.....48

FIGURE 13 : RÉF. IMG (4488-6677-1458).....50

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Calibre tampon pour alésage et calibre mâchoire pour arbre.....50
- Scénarios et Exercices.....50
- Une question de confiance à l'atelier de Lubumbashi.....50

CHAPITRE 4 : LE CONTRÔLE DES FORMES SIMPLES – PLANÉITÉ ET ANGLES.....53

4.1. Contrôle de la Planéité par Règle et Jauge d'Épaisseur.....53
- a. La table qui boite de Mbandaka.....53
- A. Principe du Contrôle par la Méthode de la Fente de Lumière.....53
- B. Mesure du Défaut avec les Jauges d'Épaisseur.....54

FIGURE 14 : RÉF. IMG (7096-7047-3405).....56

Mesure quantitative du défaut de planéité à l'aide d'une jauge d'épaisseur.....56
- b. L'anecdote de la culasse de Lubumbashi.....56

4.2. Utilisation du Niveau de Précision.....58
- a. L'œil et la bulle.....58
- A. Principe de la fiole et sensibilité.....58

FIGURE 15 : RÉF. IMG (1371-4449-6959).....60

Schéma d'un niveau de précision et lecture de la bulle d'air.....60
- B. Méthode de contrôle par retournement.....60

4.3. Mesure des Angles : du Rapporteur à la Barre Sinus.....62
- a. L'importance critique de l'angle en mécanique.....62
- A. Les Instruments à Lecture Directe.....62
- B. La Mesure Indirecte de Haute Précision : La Barre Sinus.....63

CHAPITRE 5 : LE CONTRÔLE DES SPÉCIFICATIONS GÉOMÉTRIQUES.....66

5.1. Contrôle des Tolérances d'Orientation : Parallélisme et Perpendicularité.....66
- a. L'ordre invisible des surfaces.....66
- A. Le Contrôle du Parallélisme.....66

FIGURE 16 : RÉF. IMG (0460-9959-5326).....68

Montage de contrôle du parallélisme d'une face par rapport à une autre.....68
- B. Le Contrôle de la Perpendicularité.....68

5.2. Le Contrôle de la Coaxialité de Deux Alésages.....70
- a. Le défaut invisible mais destructeur.....70
- A. Définition et Tolérance de Coaxialité.....70

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 17 : RÉF. IMG (5703-9357-8982) **73**

Représentation schématique de la zone de tolérance de coaxialité d'un alésage 73

- B. Méthode de Contrôle par Mandrin et Comparateur 73

FIGURE 18 : RÉF. IMG (9575-8548-5682) **76**

Montage de contrôle de coaxialité avec un mandrin et deux comparateurs 76

- b. Scénarios et Exercices 76

5.3. Le Contrôle de l'Alignement de Deux Arbres 78

- a. L'importance de la rectitude 78
- A. Les types de désalignement 78

FIGURE 19 : RÉF. IMG (5010-1278-6699) **80**

Schéma des deux types de désalignement d'arbres : parallèle et angulaire 80

- B. Méthodes de contrôle de base 80

FIGURE 20 : RÉF. IMG (4278-7501-4775) **81**

Contrôle d'alignement avec une règle de précision et un jeu de cales 81

- C. Scénarios et Exercices 81

PARTIE II : LES PROCÉDÉS DE FABRICATION PAR DÉFORMATION PLASTIQUE **84**

a. La mémoire de forme et le point de non-retour 84

b. Travailler à chaud ou à froid : deux philosophies 84

c. Une famille de procédés variés 84

d. L'économie de matière : l'atout maître 84

CHAPITRE 6 : LE TRAVAIL DES PRODUITS MASSIFS – FORGEAGE ET LAMINAGE **85**

6.1. Le Laminage à Chaud des Profilés 85

- a. Une question de forme 85
- A. Principe du Laminage à Chaud 85
- B. La Cage de Laminage et les Produits Obtenus 85

FIGURE 21 : RÉF. IMG (4303-5143-5086) **88**

Schéma d'une cage de laminage à chaud pour profilé en I 88

- Scénarios et Exercices 88
- Une anecdote de chantier 88

6.2. Le Forgeage Libre : Principes et Opérations 90

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. Du marteau de l'ancêtre à la presse hydraulique....90
- A. Le principe fondamental : la déformation sans contrainte totale....90
- B. Les opérations de base du forgeage libre....90

FIGURE 22 : RÉF. IMG (6182-6011-7483)....93

Les quatre opérations fondamentales du forgeage libre sur une enclume....93

- b. L'anecdote du forgeron de Kikwit....93

6.3. Le Matriçage (Forgeage en Matrice Fermée)....95

- a. De l'artisanat à la grande série....95
- A. Définition et Principe....95

FIGURE 23 : RÉF. IMG (1704-8825-1959)....98

Schéma du principe de matriçage d'une pièce métallique....98

- B. Forces et Faiblesses du Procédé....98
- C. Les Étapes Clés du Matriçage....99

6.4. Le Filage ou Extrusion des Profilés (Aluminium)....101

- a. Le principe du tube de dentifrice....101
- A. Principe du Filage Direct....101

FIGURE 24 : RÉF. IMG (9693-4025-1188)....102

Schéma de principe d'une presse à filer l'aluminium en filage direct....102

- B. Paramètres et Défauts Courants....102

CHAPITRE 7 : LE TRAVAIL DES TÔLES – DÉCOUPAGE ET EMBOUTISSAGE....105

7.1. Techniques de Découpage de Tôle : Cisaillage et Poinçonnage....105

- a. Introduction à la séparation de matière....105
- A. Le Cisaillage : la coupe rectiligne....105
- B. Le Poinçonnage : la coupe de contours fermés....106

7.2. Le Pliage des Tôles (Presse Plieuse)....108

- a. De l'étau à la presse industrielle....108
- A. Principe de fonctionnement de la presse plieuse....108

FIGURE 25 : RÉF. IMG (5069-6155-8543)....109

Schéma de principe du pliage en V sur une presse plieuse....109

- B. Le phénomène du retour élastique....109

7.3. L'Emboutissage : Transformation d'un Flanc en Pièce Creuse....111

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. L'art de donner une forme creuse.....111
- A. Le Principe Fondamental de l'Emboutissage.....112

FIGURE 26 : RÉF. IMG (2609-0810-1339).....114

Schéma de principe d'une opération d'emboutissage à simple effet.....114

- B. Les Paramètres Clés et les Défauts Courants.....114

FIGURE 27 : RÉF. IMG (2213-4006-6695).....116

Exemples de défauts courants observés après une opération d'emboutissage.....116

- Scénarios et Exercices.....116

CHAPITRE 8 : LE TRAVAIL DES PROFILÉS ET DES TUBES.....119

8.1. Le Cisaillage et le Poinçonnage des Profilés.....119

- a. Le principe de la coupe nette.....119
- A. Le Cisaillage : La coupe franche des profilés.....119

FIGURE 28 : RÉF. IMG (4961-3698-8357).....121

Principe de fonctionnement du cisaillage d'une cornière en acier.....121

- B. Le Poinçonnage : Créer des ouvertures sans percer.....121

FIGURE 29 : RÉF. IMG (6982-6320-5643).....122

Action d'un poinçon pour percer un trou dans un profilé.....122

- b. Scénarios et Exercices.....122

8.2. Le Grugeage pour les Assemblages de Tubes.....124

- a. L'art de l'emboîtement parfait.....124
- A. Définition et principe du grugeage.....124
- B. Géométrie de la "Gueule de Loup".....124

FIGURE 30 : RÉF. IMG (3464-5316-0727).....126

Vue en gros plan d'un tube parfaitement grugé avant soudure.....126

- C. Les différentes méthodes de grugeage.....126

8.3. Cintrage et Pliage des Profilés et Tubes.....128

- a. L'art de dompter le métal.....128
- A. Le Cintrage : Créer la Courbe.....129
- B. Le Pliage : Former l'Angle.....129

PARTIE III : LES PROCÉDÉS DE FABRICATION PAR TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE132

a. Du bloc brut à la pièce fonctionnelle.....132
b. L'enlèvement de matière : la sculpture du métal.....132
c. La déformation et l'assemblage : modeler sans rien jeter.....132
d. La précision géométrique : le but ultime du mécanicien.....132

CHAPITRE 9 : LA FABRICATION PAR MOULAGE.....133

9.1. Le Principe du Moulage en Sable.....133
- a. L'empreinte, une idée millénaire.....133
- A. Le Principe Fondamental : Créer un Vide pour Créer un Plein.....133

FIGURE 31 : RÉF. IMG (4043-0466-6214).....135

Schéma de la préparation du moule en sable avec son modèle.....135
- B. Les Étapes Clés de la Fabrication.....135

FIGURE 32 : RÉF. IMG (0052-6147-9158).....137

Illustration de la coulée du métal en fusion dans le moule.....137
- Scénarios et Exercices.....137
- L'anecdote de Papa Kabasele à Lubumbashi.....137

9.2. Les Modèles, les Noyaux et la Prise d'Empreinte.....139
- a. La genèse de la forme.....139
- A. Le Modèle : Le Père de la Pièce.....139

FIGURE 33 : RÉF. IMG (1444-5983-4460).....142

Schéma d'un modèle en bois avec ses surépaisseurs et dépouilles.....142
- B. Le Noyau : Le Créateur du Vide.....142

FIGURE 34 : RÉF. IMG (7302-7292-7068).....143

Coupe d'un moule en sable avec son noyau cylindrique en position.....143
- C. La Prise d'Empreinte : L'Art de Compacter.....143

9.3. Le Moulage en Coquille par Gravité.....146
- a. Introduction à la production en série.....146
- A. Le Principe Fondamental.....146
- B. Le Cycle de Fabrication.....146

FIGURE 35 : RÉF. IMG (5565-0048-5206).....149

Schéma du processus de moulage en coquille par gravité.....149

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- Scénarios et Exercices.....149
- Une urgence mécanique à Bandundu.....149

9.4. Le Moulage sous Pression des Alliages Légers.....151
- a. Une idée à très haute vitesse.....151
- A. Principe de fonctionnement.....151

FIGURE 36 : RÉF. IMG (7994-8749-0837).....152

Schéma d'une cellule de moulage sous pression à chambre froide.....152
- B. Avantages et applications.....152
- C. Les alliages utilisés.....153

CHAPITRE 10 : LA FABRICATION PAR SOUDAGE.....156

10.1. Le Soudage Oxyacétylénique.....156
- a. L'art de joindre par le feu.....156
- A. Principe de Fonctionnement.....156
- B. Les Types de Flammes et Leurs Réglages.....156

FIGURE 37 : RÉF. IMG (9399-2056-8673).....159

Les trois types de flammes du soudage oxyacétylénique et leur structure.....159
- b. Scénarios et Exercices.....159

10.2. Le Soudage à l'Arc avec Électrode Enrobée.....161
- a. L'étincelle maîtrisée.....161
- A. Principe de fonctionnement.....161
- B. Le rôle capital de l'électrode enrobée.....161

FIGURE 38 : RÉF. IMG (6641-0819-6069).....164

Schéma du processus de soudage à l'arc avec électrode enrobée.....164
- Scénarios et Exercices.....164

10.3. Autres Procédés de Soudage : Résistance, MIG/MAG et TIG.....166
- a. L'étincelle et la protection.....166
- A. Le Soudage par Résistance.....166
- B. Le Soudage MIG/MAG (Metal Inert/Active Gas).....167
- C. Le Soudage TIG (Tungsten Inert Gas).....167

CHAPITRE 11 : LA MISE EN FORME DES MATIÈRES PLASTIQUES.....170

11.1. Classification des Polymères (Thermoplastiques, Thermodurcissables).....170

- a. Le plastique, une révolution familière.....170
- A. Les Polymères Thermoplastiques : La Mémoire de Forme.....170
- B. Les Polymères Thermodurcissables : La Transformation Unique.....171

11.2. Le Moulage par Injection des Thermoplastiques.....173
- a. L'essor industriel du plastique.....173
- A. Principe de Fonctionnement.....174

FIGURE 39 : RÉF. IMG (6932-5729-6787).....176

Schéma de principe d'une presse à injecter et ses composants clés.....176
- B. Les Étapes du Cycle d'Injection.....176

FIGURE 40 : RÉF. IMG (5801-1288-8829).....179

Représentation schématique des différentes phases du cycle de moulage par inj.....179
- Scénarios et Exercices.....179

11.3. L'Extrusion des Profilés et Tubes en Plastique.....181
- a. De l'artisanat à l'industrie continue.....181
- A. Le Principe Fondamental de l'Extrusion.....181
- B. La Ligne Complète d'Extrusion.....182

FIGURE 41 : RÉF. IMG (0153-1745-1194).....184

Schéma de principe d'une ligne d'extrusion pour tubes en plastique.....184
- Scénarios et Exercices.....184
- Une révolution silencieuse au Kasaï.....184

11.4. Le Moulage par Compression des Thermodurcissables.....186
- a. Une technique ancestrale réinventée.....186
- A. Définition et principe du moulage par compression.....186

FIGURE 42 : RÉF. IMG (1515-6898-8382).....188

Schéma du cycle de moulage par compression d'un plastique thermodurcissable.....188
- B. Les étapes clés du cycle.....188

PARTIE IV : SYNTHÈSE ET CONTRÔLE DES MACHINES.....191

De l'analyse à l'invention.....191

Le besoin : point de départ de la synthèse.....191

Le contrôle : donner des ordres à la machine.....191

La performance : finalité du contrôle.....191

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

CHAPITRE 12 : MÉTHODOLOGIE DU CONTRÔLE GÉOMÉTRIQUE DES MACHINES-OUTILS192

12.1. Objectifs du Contrôle Géométrique : Précision et Maintenance.....192

- a. L'exigence de la rectitude.....192
- A. La Précision : L'ADN de la Machine-Outil.....192

FIGURE 43 : RÉF. IMG (2545-1852-8294).....194

Schéma de contrôle de la perpendicularité entre deux glissières de tour.....194

- B. La Maintenance : Anticiper pour ne pas subir.....194

12.2. Contrôle d'un Tour Parallèle (Alignement des pointes, parallélisme du c.....196

- a. Le paradoxe de la machine parfaite.....196
- A. L'Alignement des Pointes : Le Cœur de la Précision.....197

FIGURE 44 : RÉF. IMG (2345-0351-6048).....199

Schéma du contrôle d'alignement des pointes sur un tour parallèle.....199

- B. Le Parallélisme du Chariot : La Droiture du Mouvement.....199

FIGURE 45 : RÉF. IMG (1884-5565-9206).....200

Illustration du contrôle du parallélisme du chariot porte-outil.....200

- Une histoire de précision à Kisangani.....200

12.3. Contrôle d'une Fraiseuse (Perpendicularité des axes).....202

- a. La rigueur de l'angle droit.....202
- A. Principe du contrôle.....202
- B. Contrôle de la perpendicularité entre l'axe de la broche (Z) et la table (.....203

FIGURE 46 : RÉF. IMG (5617-6385-6447).....205

Contrôle de perpendicularité de l'axe de la broche sur une fraiseuse.....205

- C. Contrôle de la perpendicularité entre les déplacements X et Y.....205

12.4. Le Rapport de Contrôle et l'Interprétation des Résultats.....207

- a. L'épreuve de la vérité.....207
- A. Structure et contenu du rapport de contrôle.....207

FIGURE 47 : RÉF. IMG (4285-9928-5353).....209

Exemple de fiche de contrôle géométrique pour un tour parallèle.....209

- B. Interprétation des résultats et prise de décision.....209

FIGURE 48 : RÉF. IMG (3958-7374-0319).....212

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Visualisation d'une mesure par rapport aux limites de tolérance.....212
- Scénarios et Exercices.....212

ANNEXES.....**215**

Guide de Sélection des Instruments de Mesure.....215
- A. Principes Métrologiques Fondamentaux.....215
- B. Classification des Instruments par Grandeur Physique.....216
- C. Critères Stratégiques de Sélection.....217

Tableau Comparatif des Procédés de Fabrication.....218
- A. Procédés par Fusion et Coulée (Moulage).....218
- B. Procédés par Déformation Plastique.....219
- C. Procédés par Enlèvement de Matière (Usinage).....220
- D. Procédés de Fabrication Additive.....222

Lexique des Termes de Métrologie et de Production.....223
- A. Concepts Fondamentaux en Métrologie Dimensionnelle.....223
- B. Tolérancement et Ajustements.....224
- C. Paramètres et Terminologie de l'Usinage.....225

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Pédagogiques du Cours

1. Finalités Compétentielles

1.1. Maîtrise des savoir-faire techniques

L'enseignement vise la maîtrise par l'élève des compétences fondamentales en mécanique générale. Cette maîtrise couvre l'analyse fonctionnelle de mécanismes, le dimensionnement de pièces simples et l'interprétation de dessins techniques complexes. L'élève doit être capable de traduire un besoin fonctionnel en une solution matérielle cohérente.

1.2. Articulation Théorie-Pratique

Chaque concept théorique trouve une application concrète et immédiate en atelier. L'enseignant assure la translation systématique des savoirs abstraits, comme la résistance des matériaux ou la cinématique, vers des gestes professionnels observables. La compétence de l'élève se mesure à sa capacité à mobiliser la bonne théorie pour résoudre un problème pratique.

2. Finalités Méthodologiques

2.1. Structuration du raisonnement hypothético-déductif

Face à une panne ou un dysfonctionnement, l'élève apprend à poser un diagnostic structuré. Il formule des hypothèses basées sur ses connaissances, définit un protocole de vérification et valide expérimentalement une solution technique. Cette démarche est au cœur de la formation du technicien.

2.2. Intégration de la rigueur et des normes

L'utilisation d'un vocabulaire technique précis est non négociable. Le respect des normes de sécurité, des tolérances dimensionnelles et géométriques, ainsi que des procédures de fabrication, constitue un critère d'évaluation fondamental. La rigueur prépare l'élève aux exigences du monde industriel.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

3. Finalités Professionnelles

3.1. Développement de l'autonomie et de la responsabilité

Progressivement, l'élève est conduit à gérer un projet technique simple, de sa conception à sa réalisation. Il apprend à planifier ses tâches, à gérer les ressources matérielles et à évaluer la qualité de son propre travail.

3.2. Préparation à l'adaptabilité technologique

Le cours prépare l'élève à s'adapter aux évolutions rapides du secteur industriel. Il développe une capacité à l'auto-formation pour intégrer de nouvelles technologies ou de nouvelles méthodes de production, garantissant son employabilité future.

Approche Didactique et Méthodologique

1.1. De la Théorie à l'Application Pratique

L'articulation constante entre le savoir théorique et ses applications concrètes fonde la démarche pédagogique. Chaque concept fondamental est immédiatement suivi d'une mise en situation pratique. Cette méthode ancre la connaissance dans un contexte tangible, facilitant ainsi l'acquisition de savoir-faire techniques durables et directement mobilisables par l'élève. Le passage de l'abstrait au concret est systématique.

1.2. Développement de la Compétence Analytique

Au-delà de la simple mémorisation des formules, l'objectif est le développement d'une compétence analytique rigoureuse. L'enseignant est invité à guider l'élève dans la décomposition de problèmes complexes en sous-systèmes gérables. Cette approche systémique prépare efficacement aux exigences des évaluations certificatives, notamment l'Examen d'État (EXETAT), qui valorise la capacité de raisonnement plus que la restitution.

1.3. L'Utilisation Stratégique des Scénarios

Les exercices et scénarios proposés constituent des outils didactiques pour la simulation de situations professionnelles. Leur résolution suit une logique hypothético-déductive structurée. Cette démarche systématise le raisonnement mécanique et valide la maîtrise progressive des principes étudiés, transformant l'élève en un futur technicien capable de diagnostiquer et de résoudre une panne.

Contexte Industriel et Enjeux de Qualité

1. La Mutation du Tissu Industriel

Le paysage industriel contemporain se caractérise par une complexification des procédés et une exigence accrue de flexibilité. La production de masse standardisée cède progressivement le pas à des séries plus courtes, adaptées à des besoins spécifiques. Cette transformation impose au technicien en mécanique générale une polyvalence nouvelle. Dépassant la seule logique de maintenance corrective, son rôle s'étend à la fabrication de pièces unitaires ou en petite série, à l'adaptation de systèmes existants et au contrôle dimensionnel rigoureux. Le technicien devient un acteur clé de l'agilité productive, que ce soit dans un grand complexe minier du Lualaba ou un atelier de PME à Bukavu.

2. La Qualité comme Exigence Fondamentale

Cette évolution positionne la notion de qualité comme un impératif non négociable. La valeur d'un produit fini est directement conditionnée par la précision et la conformité de chacun de ses composants. La maîtrise du tolérancement, la garantie de l'interchangeabilité des pièces et la recherche de la fiabilité deviennent les piliers de la compétence technique. Une pièce usinée à Kisangani doit pouvoir être montée sans ajustement sur un ensemble mécanique à Boma. Former un élève à la mécanique générale aujourd'hui, c'est donc lui inculquer une culture de la précision. Chaque cote respectée, chaque état de surface atteint, contribue à la performance globale du système et à la compétitivité économique.

Partie I : La Métrologie Dimensionnelle et Géométrique

a. La science de la mesure

La métrologie est la science de la mesure. Elle fournit les outils et les méthodes pour quantifier les grandeurs physiques. Un mécanicien à Matadi qui ajuste un moteur ou un architecte à Goma qui dessine un plan utilise ses principes, parfois sans le savoir. Sans mesure précise, aucune pièce mécanique ne peut s'assembler correctement. La fiabilité d'une machine commence par la justesse de ses dimensions.

b. Dimensions et Géométrie : deux aspects d'une même pièce

Une pièce mécanique possède deux types de caractéristiques. La métrologie dimensionnelle s'occupe des tailles : longueurs, diamètres, épaisseurs. C'est le "combien ça mesure ?". La métrologie géométrique, elle, vérifie les formes et les positions : la planéité d'une surface, le parallélisme de deux axes, la circularité d'un trou. Une pièce peut avoir la bonne taille, mais être complètement tordue.

c. Les instruments : prolongement de l'œil et de la main

Pour vérifier ces caractéristiques, le technicien dispose d'instruments de haute précision. Le pied à coulisse est l'outil de base pour les mesures courantes. Pour une exactitude supérieure, le micromètre, aussi appelé palmer, s'impose. Le comparateur, lui, détecte les plus infimes variations de surface ou défauts de forme. Ces outils sont le prolongement direct de l'habileté et de la rigueur du mécanicien qualifié.

d. L'enjeu : la qualité et l'interchangeabilité

La maîtrise de la métrologie garantit deux piliers de l'industrie moderne. Premièrement, la qualité du produit fini. Deuxièmement, l'interchangeabilité des pièces. Une vis fabriquée à Kananga doit pouvoir se monter sans problème sur un écrou produit à Bukavu. Cette standardisation est la clé de la production en série et de la maintenance efficace. Mesurer juste, c'est assurer la compatibilité universelle.

Chapitre 1 : Fondamentaux de la Tolérance et de l'Ajustement

1.1. Principes du Tolérancement Dimensionnel et Système ISO d'Ajustements

a. L'impossibilité de la perfection

Un des faits les plus contre-intuitifs en mécanique de précision est que la perfection n'existe pas. Fabriquer une pièce avec une dimension *exacte* de 20,0000 millimètres est techniquement impossible, économiquement absurde et, surtout, inutile. L'industrie ne recherche pas la cote exacte, mais la fonctionnalité garantie.

Cette fonctionnalité dépend d'un compromis intelligent. On définit une marge d'erreur acceptable, un intervalle où la pièce remplit son rôle sans la moindre faille. C'est l'essence même du tolérancement. Un jeu contrôlé pour que tout s'emboîte correctement, d'un atelier à Mbandaka jusqu'à une usine à Lubumbashi.

A. Les Composants du Tolérancement Dimensionnel

Toute cote sur un dessin technique qui nécessite un contrôle précis est accompagnée de ses tolérances. Ces indications suivent une logique rigoureuse définie par des termes spécifiques.

- **La Cote Nominale (C_n)** : C'est la dimension théorique idéale inscrite sur le plan. Par exemple, 40 mm.
- **Les Cotes Limites** : Elles définissent l'intervalle acceptable.
  - La **Cote Maximale (C_{max})** est la plus grande dimension autorisée.
  - La **Cote Minimale (C_{min})** est la plus petite dimension autorisée.
- **Les Écarts** : Ils représentent la différence par rapport à la cote nominale.
  - L'**Écart Supérieur (ES pour un alésage, es pour un arbre)** :

$$ES = C_{max} - C_n$$

  - L'**Écart Inférieur (EI pour un alésage, ei pour un arbre)** :

$$EI = C_{min} - C_n$$

- **L'Intervalle de Tolérance (IT)** : C'est l'écart total permis entre la cote maximale et la cote minimale. La qualité d'une pièce est inversement proportionnelle à la valeur de son IT.

$$IT = C_{max} - C_{min} = ES - EI$$

Une pièce est déclarée conforme (ou "bonne") uniquement si sa dimension réelle, après mesure, se trouve entre C_{min} et C_{max}.

Figure 1 : Réf. IMG (1135-3779-4330)

Représentation graphique d'un intervalle de tolérance pour une cote nominale

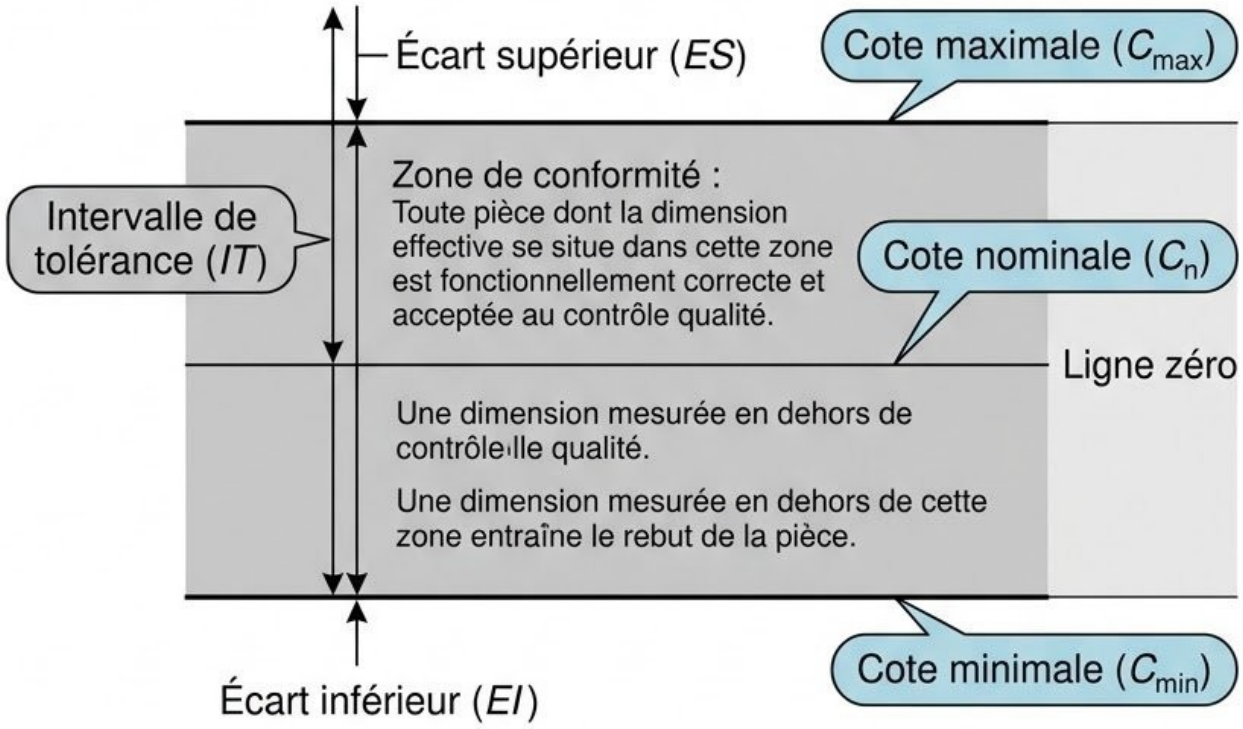


Figure 1 : Réf. IMG (1135-3779-4330)

Représentation graphique d'un intervalle de tolérance pour une cote nominale.

a. L'axe de la cote nominale

Au centre de ce schéma se trouve la ligne zéro, qui représente la cote nominale (C_n). C'est la référence théorique parfaite. Les écarts, qu'ils soient positifs ou négatifs, sont mesurés à partir de cette ligne. Elle est le point de départ de tout calcul de tolérance.

b. Les bornes de l'acceptable

Les deux lignes horizontales pleines délimitent la zone de validité. La ligne supérieure correspond à l'écart supérieur (ES) et définit la cote maximale (C_{max}). La ligne inférieure matérialise l'écart inférieur (EI) et donc la cote minimale (C_{min}).

c. La zone de conformité

L'espace grisé entre les deux bornes est l'intervalle de tolérance (IT). Toute pièce dont la dimension effective se situe dans cette zone est fonctionnellement correcte et sera acceptée au contrôle qualité. Une dimension mesurée en dehors de cette zone entraîne le rebut de la pièce.

B. Le Système d'Ajustement ISO : Arbres et Alésages

Fabriquer une pièce isolée n'a de sens que si elle doit s'assembler avec une autre. Le système ISO normalise la relation entre une pièce "contenante" (l'alésage) et une pièce "contenue" (l'arbre).

Par convention : * Les tolérances d'**alésage** sont désignées par des lettres **majuscules** (ex: H, G, F). * Les tolérances d'**arbre** sont désignées par des lettres **minuscules** (ex: h, g, f).

Un ajustement est donc défini par la combinaison des tolérances de l'alésage et de l'arbre. Par exemple : Ø50 H7/g6. Cela décrit l'assemblage d'un alésage de 50 mm de tolérance H7 avec un arbre de 50 mm de tolérance g6.

Il existe trois grandes familles d'ajustements :

1. **Ajustement avec Jeu** : L'arbre est toujours plus petit que l'alésage, même dans les cas les plus défavorables. L'intervalle de tolérance de l'arbre est toujours en dessous de celui de l'alésage. Cet ajustement permet une rotation ou une translation libre.
2. **Ajustement avec Serrage** : L'arbre est toujours plus grand que l'alésage. L'assemblage nécessite une force (presse) ou un changement de température (frettage). L'intervalle de tolérance de l'arbre est toujours au-dessus de celui de l'alésage.
3. **Ajustement Incertain ou de Transition** : Les intervalles de tolérance de l'arbre et de l'alésage se chevauchent. Selon les dimensions réelles des pièces, l'assemblage peut présenter un léger jeu ou un léger serrage.

Figure 2 : Réf. IMG (0476-4233-3710)

Comparaison schématique des ajustements avec jeu, incertain et avec serrage.

a. L'ajustement avec jeu

Ce schéma montre l'intervalle de tolérance de l'alésage (en bleu) positionné entièrement au-dessus de celui de l'arbre (en gris). Quelle que soit la dimension réelle de l'arbre (dans sa zone de tolérance) et de l'alésage (dans la sienne), la dimension de l'alésage sera toujours supérieure. Un jeu minimal et un jeu maximal peuvent être calculés. C'est le cas pour un axe de roue de vélo dans son moyeu.

b. L'ajustement avec serrage

Ici, la situation est inversée. L'intervalle de tolérance de l'arbre (en gris) est entièrement au-dessus de celui de l'alésage (en bleu). L'assemblage est impossible sans une intervention extérieure (force ou thermique). C'est typique pour le montage d'un roulement sur un axe.

c. L'ajustement incertain

Dans cette configuration, les deux zones de tolérance se superposent. Si une pièce est usinée près de sa cote maximale et l'autre près de sa cote minimale, l'ajustement peut varier. Cette solution est choisie pour des centrages précis qui ne nécessitent ni grande liberté de mouvement, ni montage permanent.

C. Scénarios et Exercices

a. L'anecdote de la pompe à eau de Bukavu

Un technicien chevronné du Sud-Kivu, Papa Maisha, reçoit une commande urgente pour réparer une pompe à eau essentielle à son quartier. La pièce défectueuse est un roulement. Il commande la pièce de rechange, référencée 6204, auprès d'un fournisseur à Goma. À la réception, impossible de monter le roulement sur l'arbre. Il semble trop petit. Après des heures de frustration, il sort son pied à coulisse numérique. L'arbre mesure 20,004 mm. Le roulement neuf mesure 19,995 mm. La pièce d'origine, usée, faisait 20,010 mm. Il comprend alors : l'arbre a été usiné avec une tolérance pour un ajustement glissant (h6), mais le roulement a un alésage prévu pour un ajustement avec

jeu (H7). La norme n'a pas été respectée sur l'une des deux pièces, rendant l'assemblage impossible. Une leçon apprise dans la sueur : la tolérance n'est pas un détail.

Exercice 1 : Calcul de l'Intervalle de Tolérance

Énoncé : Maman Thècle, qui gère un atelier de couture à Matadi, doit remplacer une bague en bronze dans sa machine. Le plan indique pour l'alésage de la bague la cote Ø30 H8. Les tables de tolérances ISO indiquent pour H8 : $ES = +33\,\mu m$ et $EI = 0\,\mu m$. Calculez la cote maximale, la cote minimale et l'intervalle de tolérance.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier les données du problème**
   - Cote nominale : $C_n = 30$ mm
   - Écart Supérieur : $ES = +33\,\mu m = +0,033$ mm
   - Écart Inférieur : $EI = 0\,\mu m = 0$ mm
2. **Étape 2 : Calculer les cotes limites** La cote maximale est calculée par : $C_{max} = C_n + ES$.

   $$C_{max} = 30 + 0,033 = 30,033\,\text{mm}$$

   La cote minimale est calculée par : $C_{min} = C_n + EI$.

   $$C_{min} = 30 + 0 = 30,000\,\text{mm}$$

3. **Étape 3 : Calculer l'Intervalle de Tolérance (IT)** L'intervalle de tolérance est la différence entre les cotes limites : $IT = C_{max} - C_{min}$.

   $$IT = 30,033 - 30,000 = 0,033\,\text{mm}$$

   L'intervalle de tolérance est aussi $IT = ES - EI = 0,033 - 0 = 0,033$ mm. La bague sera conforme si son diamètre intérieur est compris entre 30,000 mm et 30,033 mm.

Exercice 2 : Identification du Type d'Ajustement

Énoncé : Bapolo, technicien de maintenance à la centrale de la Tshopo près de Kisangani, doit assembler un pignon sur un arbre de turbine. La documentation spécifie l'ajustement Ø40 H7/p6. Données : * Alésage Ø40 H7 : $C_{min} = 40,000$ mm ; $C_{max} = 40,025$ mm. * Arbre Ø40 p6 : $C_{min} = 40,026$ mm ; $C_{max} = 40,042$ mm. Déterminez le type d'ajustement en justifiant votre réponse.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyser les dimensions de l'alésage (H7)** La dimension de l'alésage peut varier de 40,000 mm à 40,025 mm. Sa plus grande valeur possible est $Alésage_{max} = 40,025$ mm.
2. **Étape 2 : Analyser les dimensions de l'arbre (p6)** La dimension de l'arbre peut varier de 40,026 mm à 40,042 mm. Sa plus petite valeur possible est $Arbre_{min} = 40,026$ mm.
3. **Étape 3 : Comparer les dimensions et conclure** On compare la plus petite dimension possible de l'arbre ($Arbre_{min}$) avec la plus grande dimension possible de l'alésage ($Alésage_{max}$). On constate que $Arbre_{min}(40,026\,\text{mm}) > Alésage_{max}(40,025\,\text{mm})$. Puisque la dimension de l'arbre est toujours et dans tous les cas supérieure à la dimension de l'alésage, il y aura toujours un serrage. **Conclusion : L'ajustement Ø40 H7/p6 est un ajustement avec serrage.**

1.2. Les Différents Types d'Ajustements : Jeu, Serrage, Incertain

a. Le secret de l'emboîtement parfait

Pendant des siècles, l'artisan du Kasaï ajustait à la main le manche de sa hache dans la tête en fer. Il ne connaissait pas les normes ISO, mais il savait instinctivement qu'un manche trop fin rendait l'outil inutilisable. Un manche trop épais ne rentrerait jamais. Son savoir-faire était une forme de métrologie empirique, basée sur le toucher et l'expérience.

Cette sagesse pratique est le cœur de la mécanique moderne. Elle formalise ces sensations avec des chiffres et des noms précis. Les trois grandes familles d'ajustements décrivent simplement comment deux pièces, un arbre et un alésage, doivent s'emboîter. Soit elles bougent librement, soit elles sont bloquées ensemble, soit le résultat dépend des pièces choisies.

A. L'Ajustement avec Jeu

Un ajustement présente un jeu lorsque l'arbre est toujours plus petit que l'alésage, quelles que soient leurs dimensions réelles dans leurs intervalles de tolérance. Cette configuration garantit un espace libre entre les deux pièces. L'arbre peut donc glisser ou tourner à l'intérieur de l'alésage. C'est le montage typique pour un axe de roue ou un tiroir de bureau.

Mathématiquement, la condition est simple. Le jeu minimal doit être positif.

$$J_{min} > 0$$

Cela assure qu'il y aura toujours un espace, même dans le cas le plus défavorable où l'arbre est à sa taille maximale et l'alésage à sa taille minimale.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 3 : Réf. IMG (2918-6704-8026)

Représentation schématique d'un ajustement avec jeu et d'un serrage

a. Analyse visuelle des ajustements

Ce schéma illustre les deux situations extrêmes. À gauche, l'arbre (pièce mâle) est visiblement plus petit que l'alésage (pièce femelle). L'espace blanc entre les deux représente le "jeu". Cette configuration autorise un mouvement relatif. À droite, la situation est inversée. L'arbre est plus grand que l'alésage. Il n'y a aucun espace. L'emboîtement ne peut se faire qu'en forçant, créant un "serrage".

b. La liberté du mouvement : le jeu

Le jeu garantit une mobilité. C'est le principe fondamental pour toutes les liaisons glissières ou pivots. Pensez à un piston dans un cylindre de moteur à Gbadolite. Un jeu insuffisant provoquerait une surchauffe et un grippage immédiat. Un jeu excessif entraînerait une perte de compression et un bruit anormal. Le bureau d'études choisit le jeu idéal pour la fonction.

c. La force de liaison : le serrage

Le serrage est l'opposé. Il vise à créer une liaison fixe et rigide par déformation élastique des matériaux. Le montage se fait souvent à la presse hydraulique ou après avoir chauffé l'alésage (dilatation) ou refroidi l'arbre (contraction). C'est une méthode d'assemblage très puissante, utilisée pour monter des roulements ou des frettes.

B. L'Ajustement avec Serrage

Un ajustement présente un serrage lorsque l'arbre est toujours plus grand que l'alésage, quelles que soient leurs dimensions réelles. L'assemblage des deux pièces est impossible sans une force importante ou une technique de montage spéciale (frettage). Une fois montées, les pièces sont solidaires. Le serrage est en réalité un jeu négatif.

La condition mathématique est que le jeu maximal soit négatif.

$$J_{max} < 0$$

Cela signifie que même dans le cas le plus favorable (arbre le plus petit, alésage le plus grand), l'arbre reste plus grand que l'alésage.

C. L'Ajustement Incertain

Un ajustement est dit incertain lorsque les intervalles de tolérance de l'arbre et de l'alésage se chevauchent. Selon les dimensions réelles des deux pièces choisies au hasard pour l'assemblage, le montage peut présenter soit un léger jeu, soit un léger serrage. Ce type d'ajustement est utilisé pour des centrages précis où un léger serrage est acceptable.

La condition mathématique est un croisement des jeux.

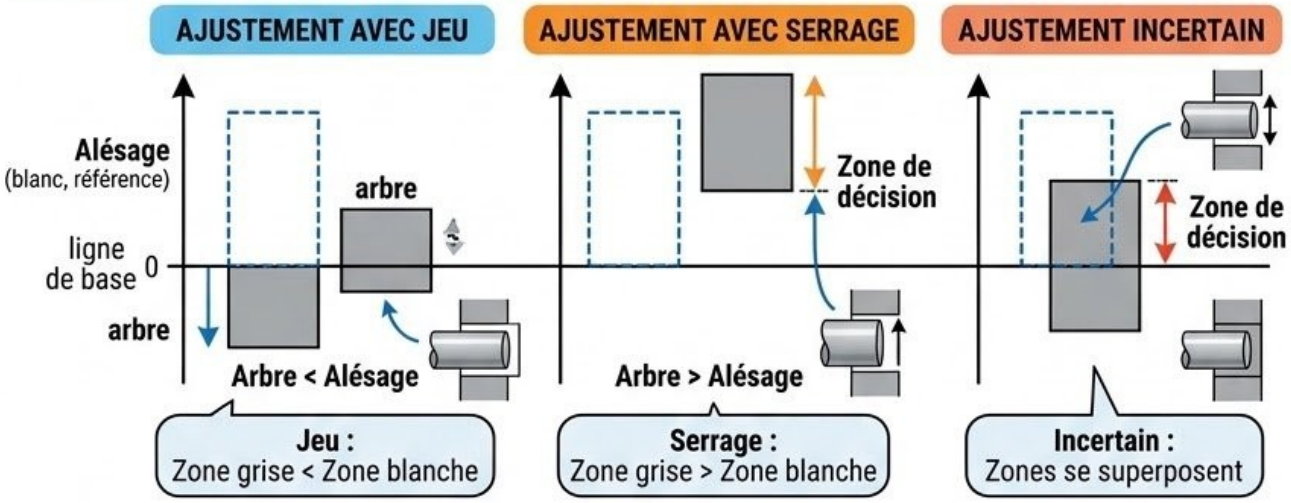
$$J_{max} > 0 \text{ et } J_{min} < 0$$

Le résultat final dépend du hasard de la production. C'est un pari contrôlé.

Figure 4 : Réf. IMG (9726-3535-6125)

Graphique des intervalles de tolérance pour les trois types d'ajustements

a. Comprendre les zones de tolérance



b. La prévisibilité du jeu et du serrage



c. La gestion de l'incertitude

